

# PROSPECTION SUR LES IMAGES NUMERIQUES PROCHE INFRAROUGE

Gilles Gachet

## Groupe de travail :

Orane Reuland (GE)  
Marc Riedo (NE)  
Vincent Grandgirard (FR)  
Raphaël Bovier (Swisstopo)  
Davis Giorgis (VD)



## Plan de la présentation

- Introduction
- Les caméras multispectrales
  - caractéristiques (tableau comparatif)
- *Analyse du bruit (entropie)*
- *Analyse de la résolution effective (Full Width of edge response at Half Height)*
- Comparaison des résolutions spatiales
- Formats de compression
- Rehaussement
- Interprétation visuelle
- Applications
  - Foresterie
  - ...

## Introduction

### Contexte de la prospection: *en cours*




- En 2005, plusieurs cantons et swisstopo disposent d'orthophotos numériques dans le domaine du proche infrarouge
- Apporter aux administrations communales des éléments qui permettront d'éviter une sous-estimation des images proche infrarouge par manque de connaissance de leurs **caractéristiques** et de leurs **domaines d'utilisation**

### Objectifs:

- **Analyse critique** d'images PIR fournies par **3 caméras numériques**
  - *Introduction à l'imagerie numérique aéroportée*
- Démontrer le **potentiel** des images PIR
  - comparaison à des images analogiques & vraies couleurs
  - illustrer un ou plusieurs domaines d'application

# Caméras multispectrales

## Principales caractéristiques:

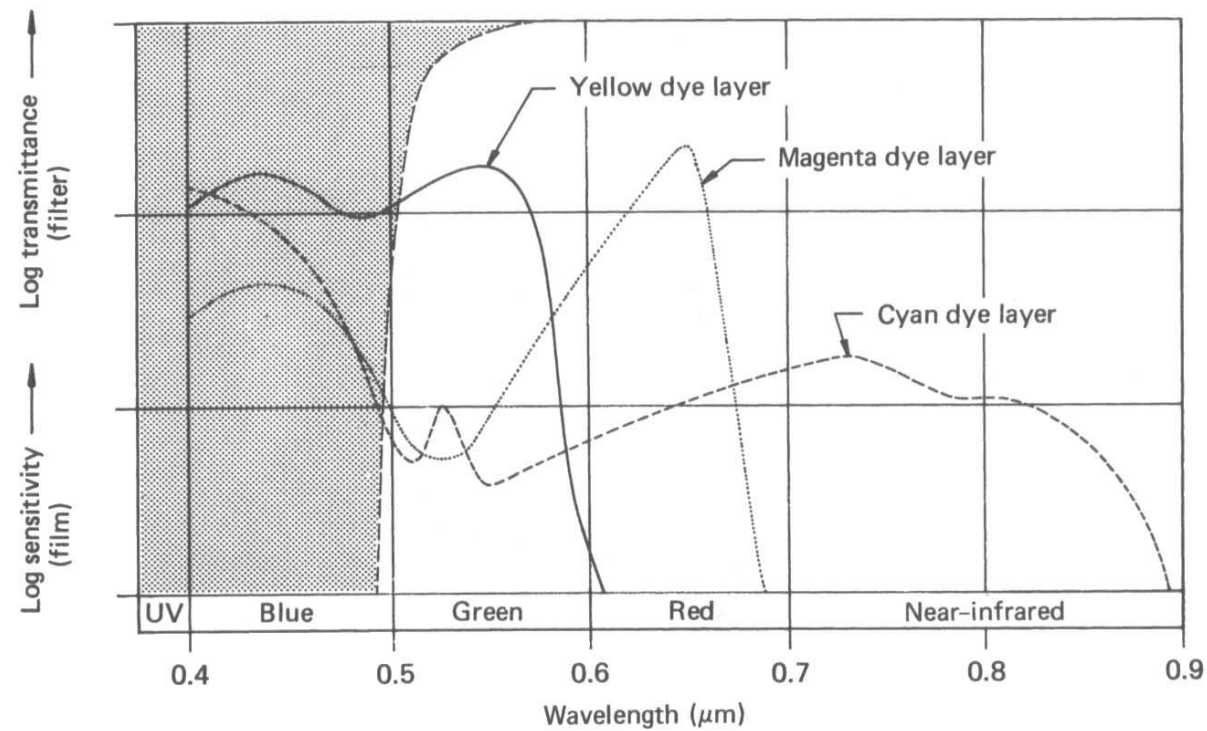
	Z/I-Intergraph DMC	UltraCam (Vexcel)	ADS 40 (Leica)
			
Type de caméra	<p><b>PAN</b> : 4 capteurs CCD 7000×4000 pixels</p> <p><b>MS</b> : 4 capteurs CCD multispectraux (R,G,B,PIR) 3000×2000 pixels</p> <p>Après rectification et juxtaposition image : <b>13500×8000 pixels</b></p>	<p><b>PAN</b> : 4 capteurs CCD 11500×7500 pixels</p> <p><b>MS</b> : 4 capteurs CCD multispectraux (R,G,B,PIR) 4000×2700 pixels</p> <p><b>Pan-sharpening</b> : Ratio d'~1 :3.5 entre les données pan et multispectrales</p>	<p><b>PAN</b> : 2 barrettes de 12000 éléments décalées d'un demi pixel (24000 pixels) - 3 lignes</p> <p><b>MS</b> : 4 barrettes supplémentaires de 12000 éléments (R,G,B,PIR1 [PIR2])</p> <p>L'image n'est pas traitée par pan-sharpening <b>Prisme tri-chroïd</b></p>
Type de capteur	Capteurs surfaciques	Capteurs surfaciques	Scanner 10 ou 12 lignes Pushbroom scanner
Focale (PAN)	120 mm	100 mm	62.5 mm
Taille physique du pixel sur le plan focal	12 µm	9 µm	6.5 µm
Ground sample distance	10 cm / 1000 m	9 cm / 1000 m	16 cm / 3000 m
Résol. radiométrique	12 bit (4096 niveaux)	12 bit (4096 niveaux)	12 bit (4096 niveaux)



# Caméras multispectrales

## Propriétés multispectrales:

	Pan		Bleu		Vert		Rouge		PIR	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
DMC	400	900	400	580	500	650	590	675	675 740*	850 850*
UltraCam	390	690	390	470	420	580	620	690	690	900
ADS40	465	680	430	490	535	585	610	660	705	760
Analogique									835	885



# Caméras multispectrales

## Images fausse-couleur:

DMC 25 cm - NE



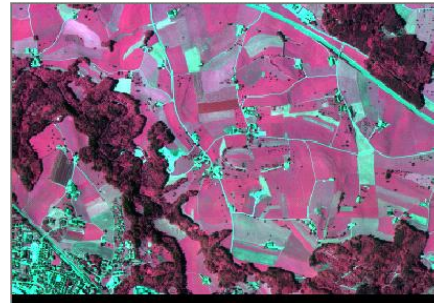
DMC 50 cm - FR



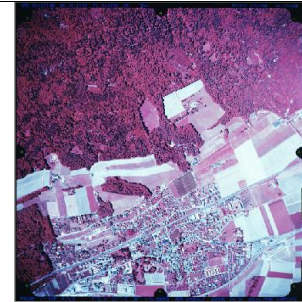
Vexcel UltraCAM D 16 cm - GE



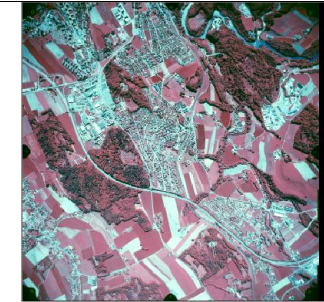
ADS40 25 cm - SG



RC30 15 cm NE



RC30 15 cm FR



Vol: juin 1998

Caméra / Canton	Date du vol	Images
DMC – Neuchâtel	29 Août 2005	13'500 × 8'000 pixels
DMC – Fribourg	9 Août 2005	8'500 × 6'000 pixels
UltraCam – Genève	8-9 août 2005	18'750 × 18'750 pixels
ADS40 – St-Gall	2 juin 2005	12'000 × 8'000 pixels

# Analyse du bruit

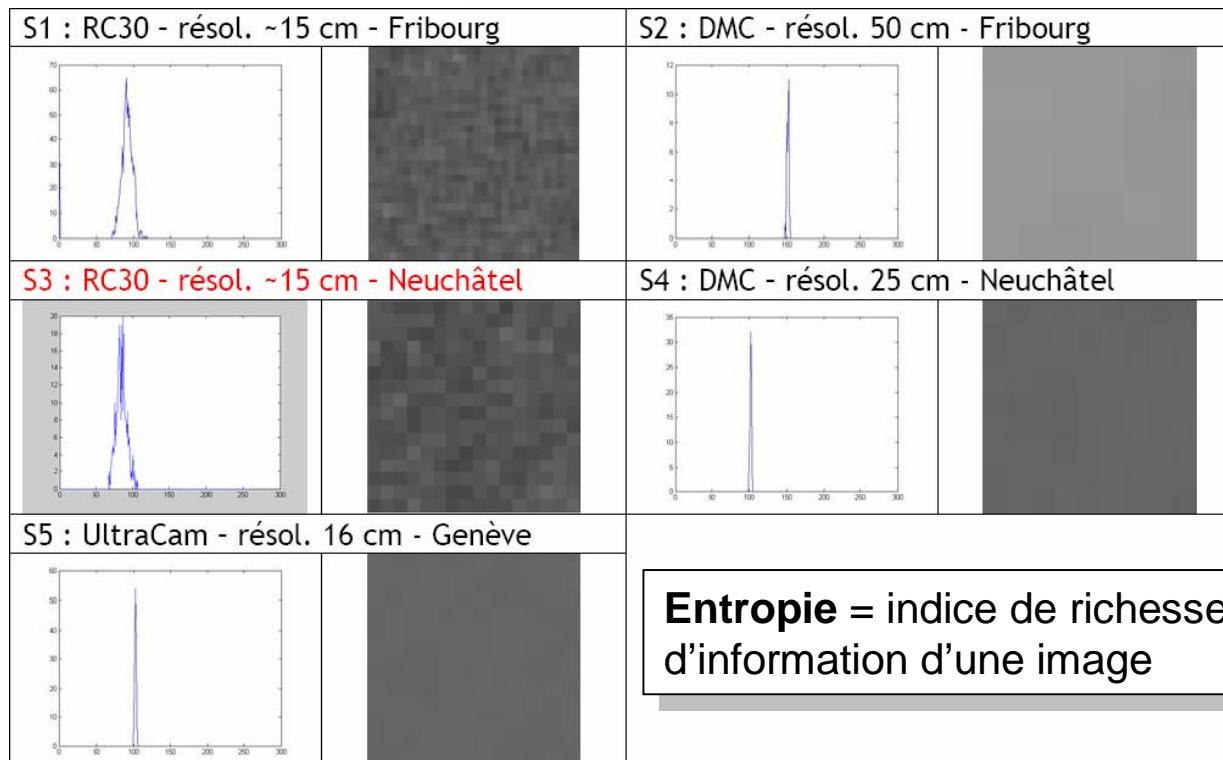
## Analyse du bruit par l'analyse de l'entropie:

l'entropie est un indicateur dont l'objectif est similaire à celui de la dynamique de l'image : **évaluer la richesse informatique de l'image**. Il se construit sur la probabilité qu'une valeur est présente dans l'histogramme. Si tous les niveaux sont remplis avec la même fréquence, la situation est optimale, car l'image offre ainsi un maximum d'information ; son entropie est également maximale.

$$H_e = - \sum_{k=0}^{G-1} P(k) \log_2(P(k))$$

G = tons de gris

P(k) = probabilité du ton de gris k



Une **région « idéale »**, parfaitement homogène n'est représentée que par **un seul niveau de gris**:  
entropie nulle

### Secteurs tests:

- bande verte
- 3 m × 3 m



# Analyse du bruit

LABORATOIRE DE SYSTEMES  
D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Caméra	N° secteur test	Entropie
RC30 : ~15 cm de résolution (FR)	S1	4.796
DMC : 50 cm de résolution (FR)	S2	2.293
RC30 : ~15 cm de résolution (NE)	S3	4.781
DMC : 25 cm de résolution (NE)	S4	2.056
UltraCam : 16 cm de résolution (GE)	S5	2.090

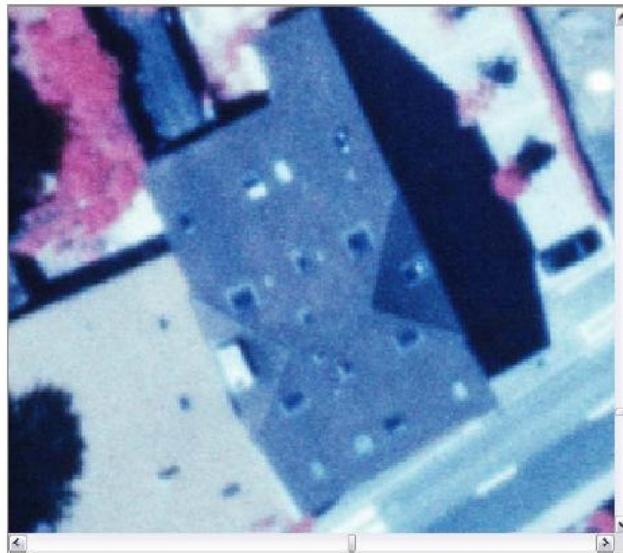


Figure 15

Photo analogique RC30 scannée (à 10  $\mu$ m)  
Résolution spatiale : env. 15 cm



Orthophoto numérique DMC  
Résolution spatiale de 25 cm

**Perspectives:** réaliser l'étude sur un plus grand nombre de sites tests et ajouter les images ADS40



## Analyse de la résolution effective

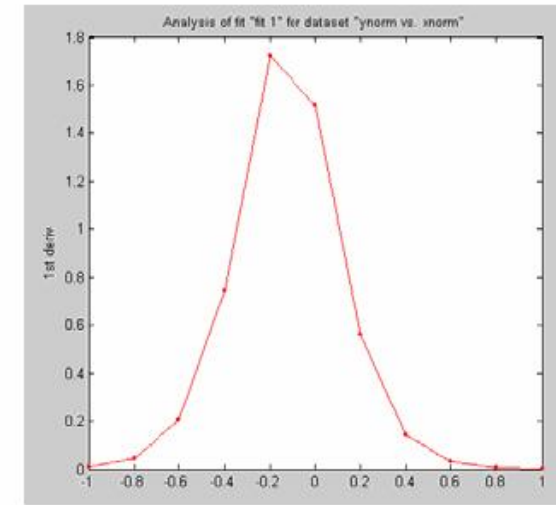
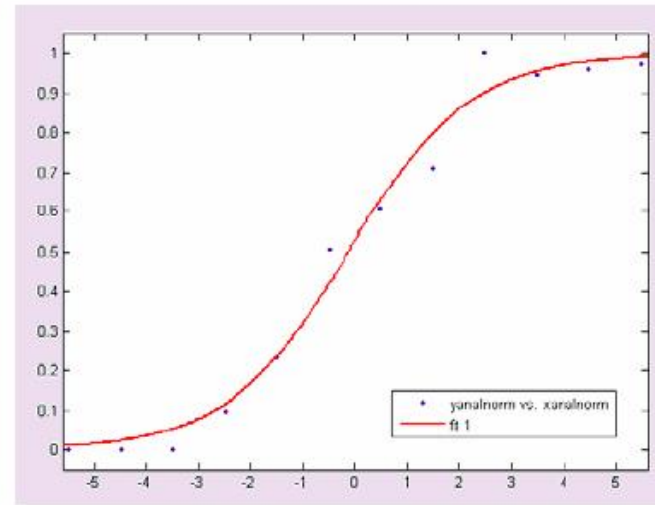
Résolution effective = Résolution actuelle (dpi) / Facteur d'échelle (%)

Permet de déterminer le **potentiel d'une image à produire des détails fins** (pouvoir séparateur)

Analyse quantitative:

1. Ajuster une courbe sigmoïde à un « profil de transition »
2. Calculer la dérivée première de la sigmoïde  
(permet de décrire la qualité d'un système de prise de vue)
3. Mesurer la distance en pixel à mi-hauteur de la dérivée

# Analyse de la résolution effective



Caméra	Secteur (image)	FWHM* [m]	FWHM*** [pixels]
RC30 : ~15 cm de résolution (FR)	S1	0.48**	3.2
DMC : 50 cm de résolution (FR)	S2	0.50	1
RC30 : ~15 cm de résolution (NE)	S3	0.32**	2.1
DMC : 25 cm de résolution (NE)	S4	0.40	1.6
UltraCam : 16 cm de résolution (GE)	S5	0.16	1
ADS40 : 25 cm de résolution (SG)	S6	0.30	1.2

• \* Valeur mesurée graphiquement - unité [mètre]

• \*\* Résolution spatiale mesurée pour les images issues de la caméra RC30 : 0.142 [m]

• \*\*\* Equivalent pixels = (FWHM [m]) / résolution spatiale de l'image [m]

Facteur ≈ 2

Etude de Thurgood, 2004 ([www.vexcel.com](http://www.vexcel.com)); Resol: Analog: 1.8 – 2.9 pixels Digital: 1.1-1.9 pixels; Facteur 1.5

Perspectives: réaliser l'étude sur un plus grand nombre de sites tests

## Comparaison des résolutions spatiales

Image	Taille en pixels	Résolution spatiale
1 Image source	4375 × 3126	16 cm
2	2800 × 2000	25 cm
3	1400 × 1400	50 cm
4	700 × 500	1 m

**Echelle de représentation:** dépend de la définition du média choisi pour l'interprétation (écran d'ordinateur, tirage papier, ...)

**Echelle optimale:** dépend du niveau de détail et donc de la résolution spatiale de l'image.

Echelle optimale (cas d'un écran 96 dpi) =  $96 \times \text{résolution spatiale} / 2.54$ )

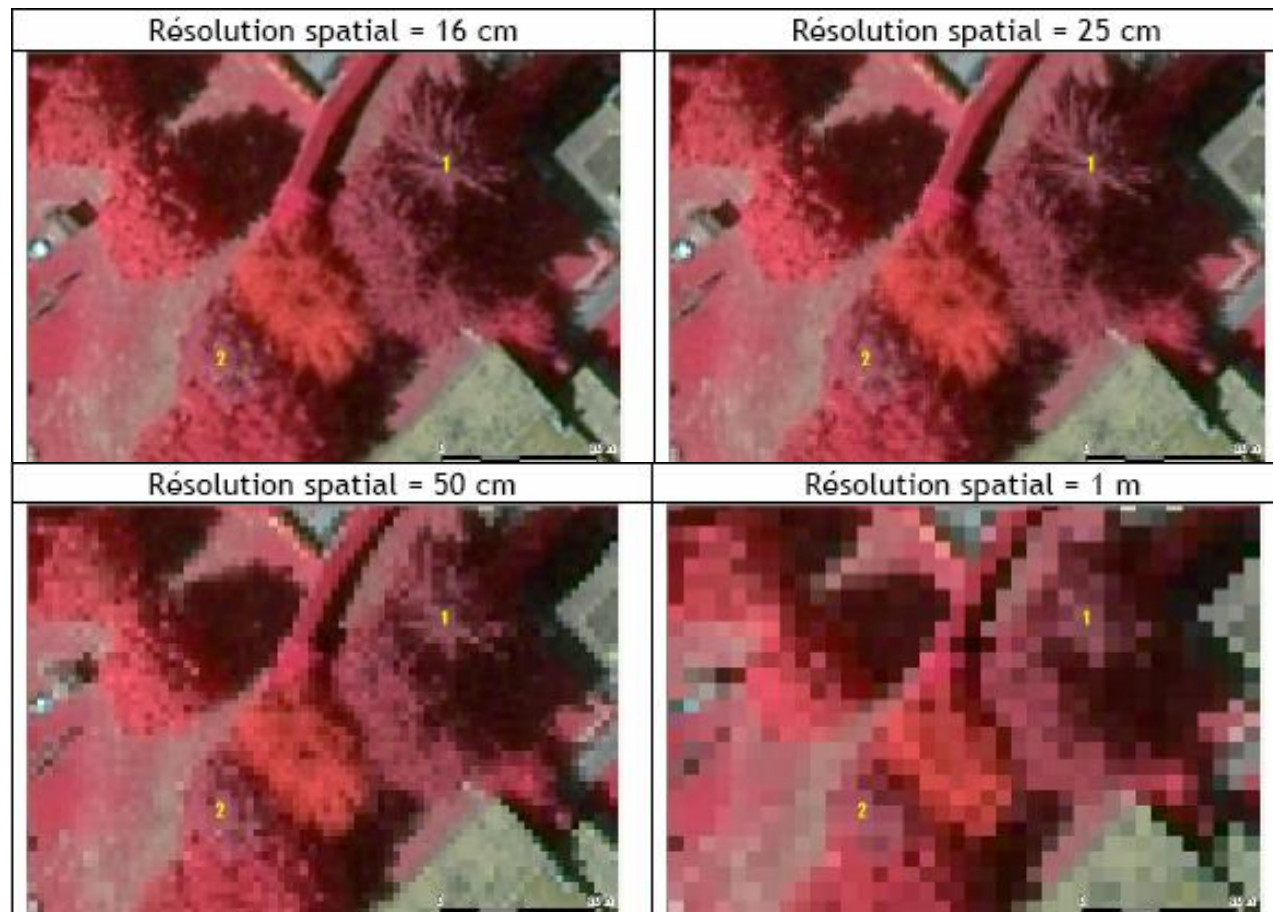
Pour 16 cm de résolution spatiale  $\Rightarrow 1 : 600$

Pour 50 cm de résolution spatiale  $\Rightarrow 1 : 1900$

## Comparaison des résolutions spatiales

Résolution optimale pour délimiter un arbre individuel?

Résolution optimale pour étudier les essences forestières? (texture)



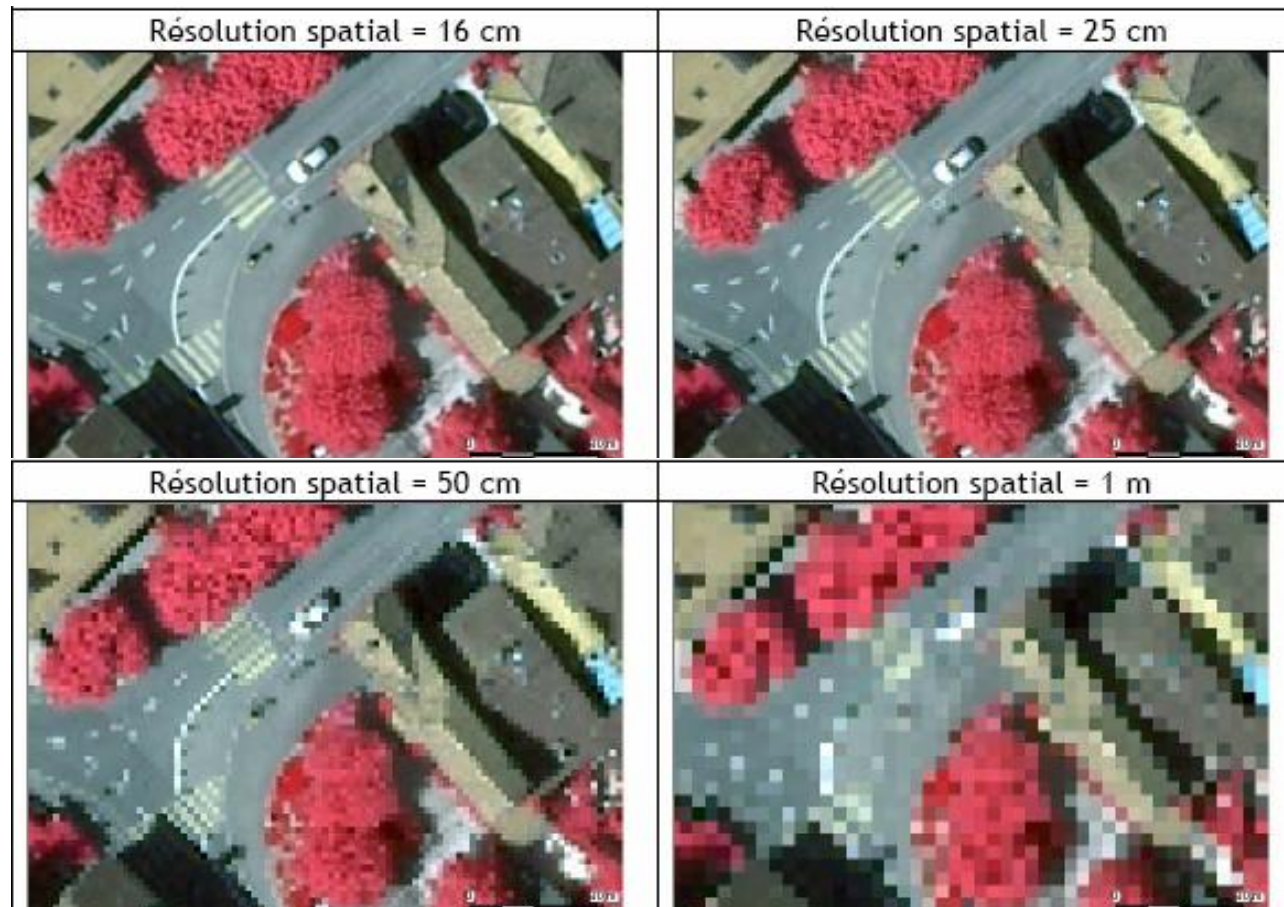
Images source: caméra UltraCam  
Canton de GE  
Date: 2 juin 2005



## Comparaison des résolutions spatiales

LABORATOIRE DE SYSTEMES  
D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

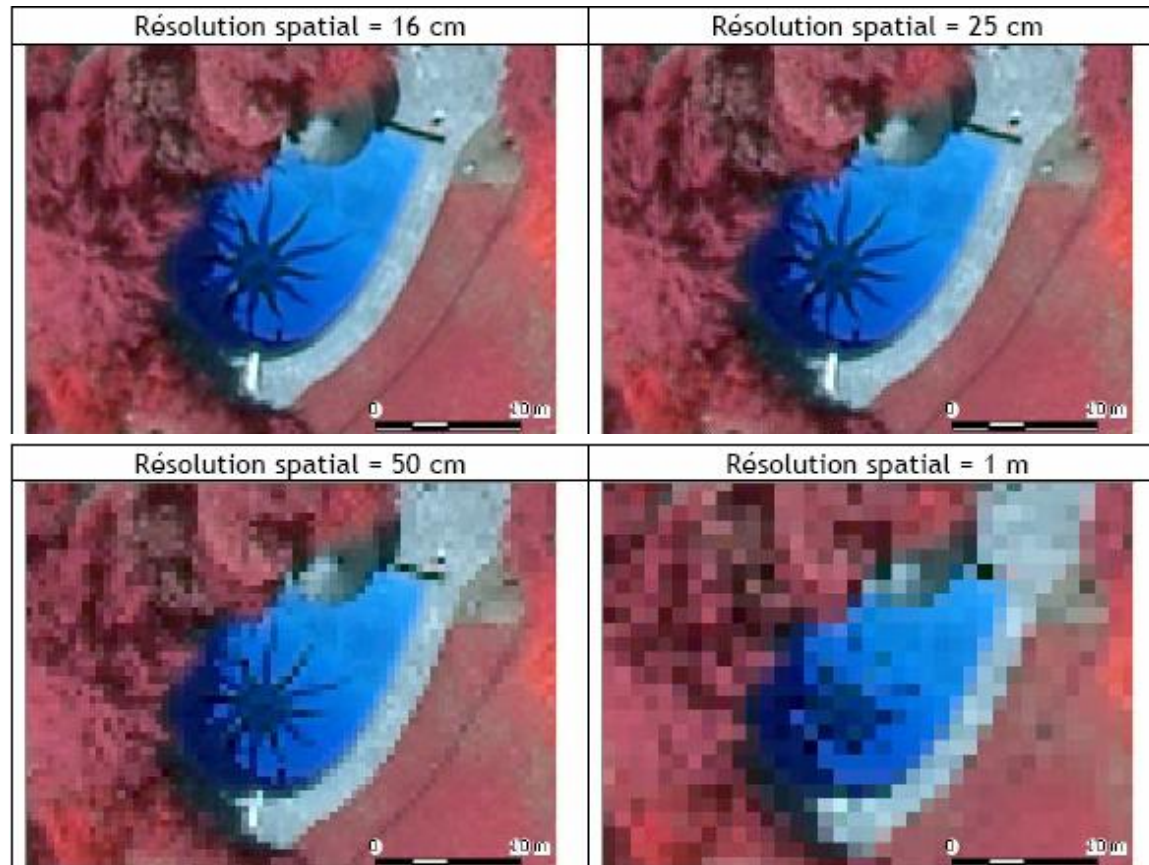
Résolution optimale pour l'identification du marquage routier, la délimitation des trottoirs, voitures?



Images source: caméra UltraCam  
Canton de GE  
Date: 2 juin 2005

## Comparaison des résolutions spatiales

Analyse de la dégradation d'une image due au changement de résolution!



Images source: caméra UltraCam  
Canton de GE  
Date: 2 juin 2005

Mise à jour cartographique et  
délimitation précise d'objets:

Optimal jusqu'à 25 cm (RS)

Acceptable pour 50 cm (ambiguïtés)

Aléatoire au-delà de 50 cm (RS)

Résolution spatiale de 25 cm

Echelle de représentation: →1:250

Résolution spatiale de 50 cm

Echelle de représentation: →1:1000

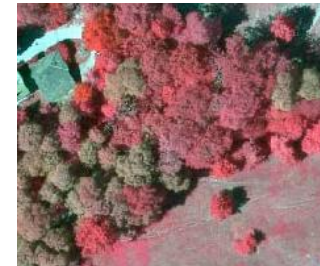
Résolution spatiale de 1 m

Echelle de représentation: →1:4000

# Interprétation visuelle

## Tableau résumé:

Résolution spatiale	Analyse à l'échelle des peuplements	Comptage des arbres	Identification des essences	Mise à jour cartographique
16 cm	bon	bon	bon	bon
25 cm	bon	bon	bon	bon
50 cm	bon	moyen	moyen	moyen
1 m	moyen	mauvais	mauvais	mauvais






## Formats de compression

LABORATOIRE DE SYSTEMES  
D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

### Gestion du volume de ces données?

Format de compression	Compagnie	Référence
JPEG (.jpg)	JPEG Committee	<a href="http://www.jpeg.org/index.html">http://www.jpeg.org/index.html</a>
JPEG2000 (.jpg)	JPEG Committee	<a href="http://www.jpeg.org/index.html">http://www.jpeg.org/index.html</a>
Mr SID (.sid)	LizardTech, USA	<a href="http://www.lizardtech.com/">http://www.lizardtech.com/</a>
ECW (.ecw)	ER Mapper, Australie	<a href="http://www.ermapper.com/">http://www.ermapper.com/</a>

Description	Image proche infrarouge (UltraCam) Format : Codage : unsigned 8-bit 251 × 251 pixels 16 [cm] de résolution spatiale		
Format	TIFF non compressé		
Taille originale	187 [Ko]		
Illustration			

Format	N°	Taille [Ko]	Paramètre de compression	Taux de compression Effectif [%]	Gain [%]	Qualité générale	Qualité des détails
JPEG	1	53	-	3.5	72	Moyenne	Faible
JPEG 2000	2	13	20	14.4	93	Bonne	Bonne
	3	7	60	26.7	96	Mauvaise	Mauvaise
	4	78	Lossless	2.4	58	Très bonne	bonne
Mr SID	5	17	20	11.0	91	Bonne	Bonne
	6	10	60	18.7	95	Mauvaise	Mauvaise
ECW	7	73	20	2.6	61	Bonne	Bonne
	8	73	60	2.6	61	Bonne	Bonne



# Formats de compression

Format	N°	Bruit	Netteté des contours	Géométrie des objets	Bilan
JPEG	1	-	- -	- -	-5
JPEG 2000	2	+ +	+ +	+ +	+6
	3	-	- -	-	-4
	4	+ + +	+ +	+ +	+7
Mr SID	5	+	+	+ +	+4
	6	- -	- - -	- - -	-8
ECW	7	+	+ +	+ +	+5
	8	+	+ +	+ +	+5

Image originale



Lissage JPEG 2000



Zones floues



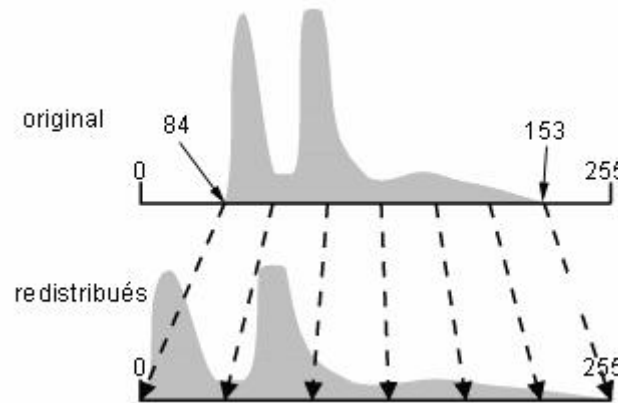
Limite du taux de compression



# Rehaussement

**Objectif:** faciliter l'interprétation visuelle et la compréhension des images

**Principe:**

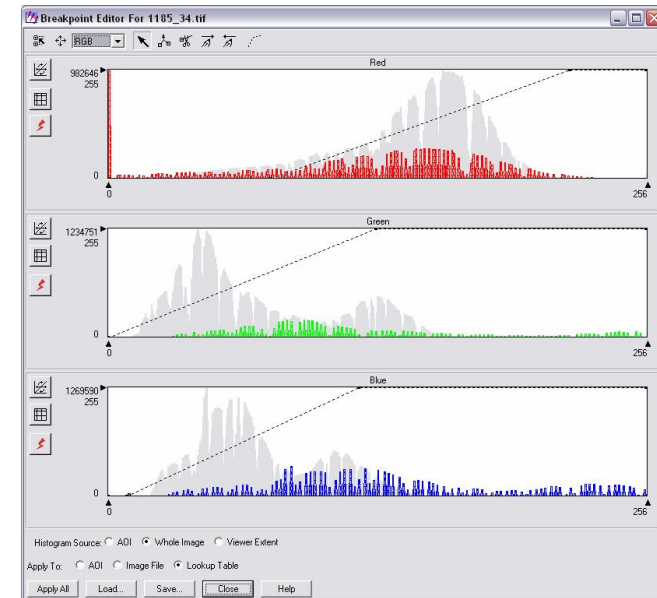


Il existe plusieurs méthodes de rehaussement:

- rehaussement linéaire
- étirement pondéré de l'histogramme
- filtres spatiaux (passe-bas, passe-haut)

**Dynamique de l'image:** étendue de la gamme de couleur ou de niveaux de gris que peuvent prendre les pixels (détermine le contraste)

La dynamique de l'image est exprimée à travers l'histogramme





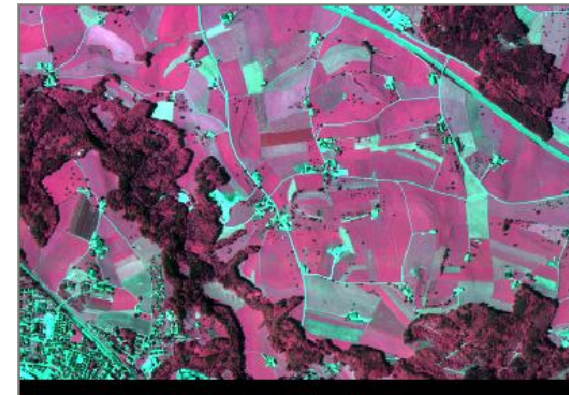
# Rehaussement

## AVANT

## APRES



Camera DMC / RS:25 cm (NE)



Camera ADS40 / RS:25 cm (SG)

## Interprétation visuelle

Le potentiel de l'image PIR pour l'interprétation visuelle des scènes a été illustré à travers **3 thématiques**: secteurs urbain, agricoles et forestiers

Les principales caractéristiques permettant de comparer des objets (cibles) sur une images sont:

le **ton**: clarté/teinte relative des objets

la **forme**: structure...

la **taille**: fonction de l'échelle

le **patron**: agencement spatial des objets visiblement discernables

la **texture**: arrangement et fréquence des variations de teintes dans des régions particulières de l'image

l'**ombre**

l'**association**: relations entre les cibles



Lors de l'interprétation visuelle, ou du traitements d'images, il est important d'avoir connaissance de la **date du vol** (période de végétation) et si possible des **conditions météo** lors du vol.



## Interprétation visuelle

### Signature spectrale des objets (*caractéristiques des images PIR*)

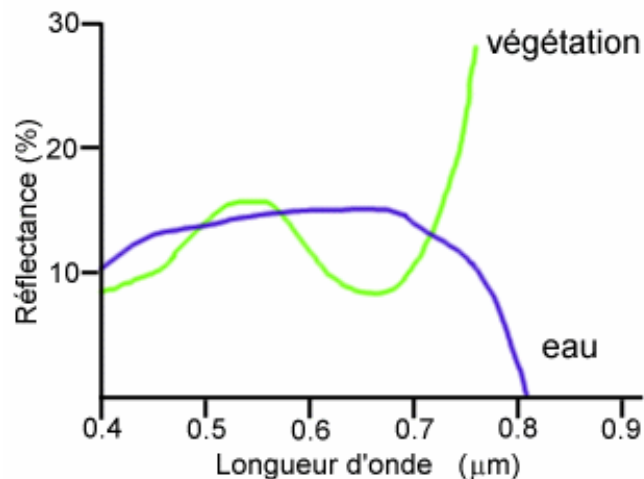
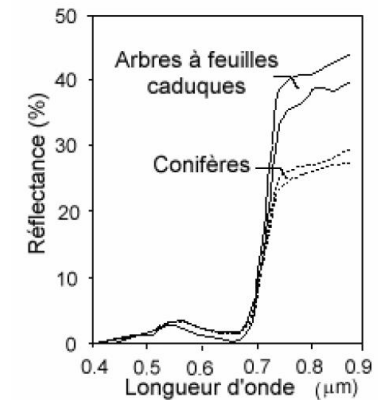
Lorsque l'E atteint la cible, la surface peut **absorber** (A), **transmettre** (T) ou **réfléchir** (R) l'E incidente. La proportion de chaque interaction dépendra de la  $\lambda$  de l'E ainsi que de la **nature** et des **conditions de la surface**:



#### Feuilles:

chlorophylle: absorbe R & B  
réfléchit V

structure: feuilles en santé  $\Rightarrow$  forte réflexion PIR



#### Eau:

absorbe davantage les grandes  $\lambda$  du visible & PIR  
réfléchit davantage les petites  $\lambda$  (bleu-vert)

R spéculaire: surface lisse

R diffuse: surface rugueuse

# Interprétation visuelle

## Secteur urbain

Extraction de la végétation et  
identification des arbres isolés

Panchromatique



Couleur (RVB)



Proche infrarouge



Les 3 images sont issues de la caméra DMC

Canton de NE (25 [cm])

Date: 29 août 2005

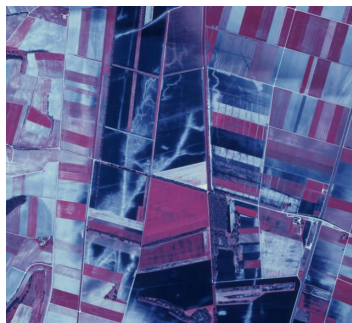
## Interprétation visuelle

### Secteur agricole

Mise en évidence de certaines structures particulières liées à la **microtopographie** et à la **teneur en eau**

Mise en évidence des récoltes (vignes) « stressées » ou endommagées (baisse de la teneur et chlorophylle et changement de la structure interne)

### Détection des zones humides



Chavornay (VD)  
(RC30 – 1998)

Panchromatique



Couleur (RVB)



Proche infrarouge

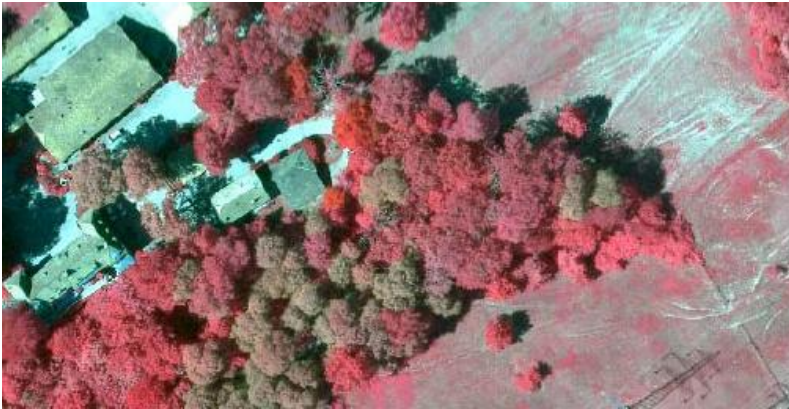


Les 3 images sont issues de la caméra DMC  
Canton de NE (25 [cm])  
Date: 29 août 2005



## Interprétation visuelle

### Secteur forestier



Images source: caméra UltraCam  
Canton de GE  
Date: 2 juin 2005

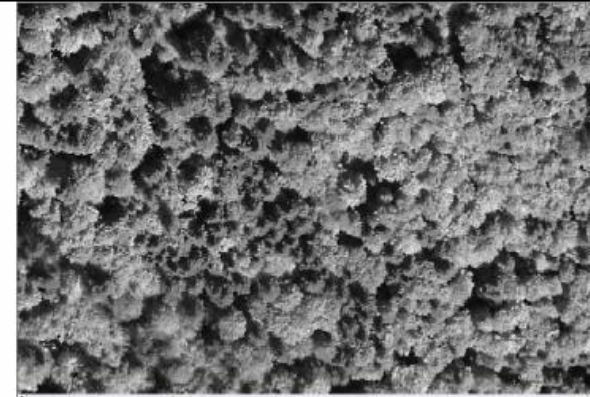
Distinction feuillus/conifères

Identification d'espèces caractéristiques

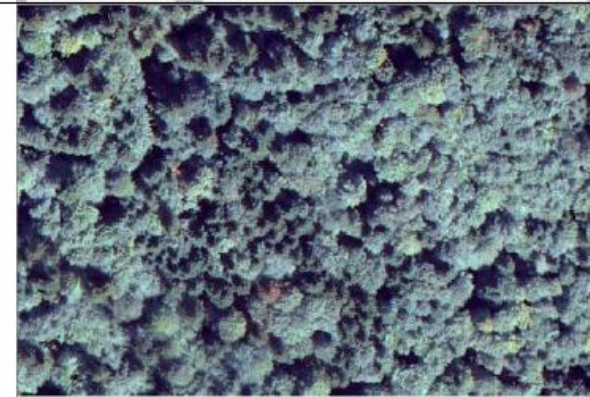
Identification des arbres morts (état  
sanitaire des forêts)

Les 3 images sont issues de la caméra DMC  
Canton de NE (25 [cm])  
Date: 29 août 2005

Panchromatique



Couleur (RVB)



Proche infrarouge





## Applications

Les images PIR trouvent leur intérêt dans de **nombreuses applications**:

Occupation du sol, agriculture, foresterie, géologie, archéologie, gestion des zones littorales, cartographie des zones humides...

Le rapport apporte un complément d'information pour une thématique choisie:

### **Applications des images PIR au domaine forestier: inventaire forestier**

- Inventaire des espèces (feuillus – conifères)
- Dénombrement des arbres
- Densité de la végétation
- Estimation de la biomasse
- Santé et vigueur des forêts (activité chlorophyllienne)
- Calcul d'indices: NDVI

$$NDVI = \frac{Rouge - PIR}{Rouge + PIR}$$

## Applications

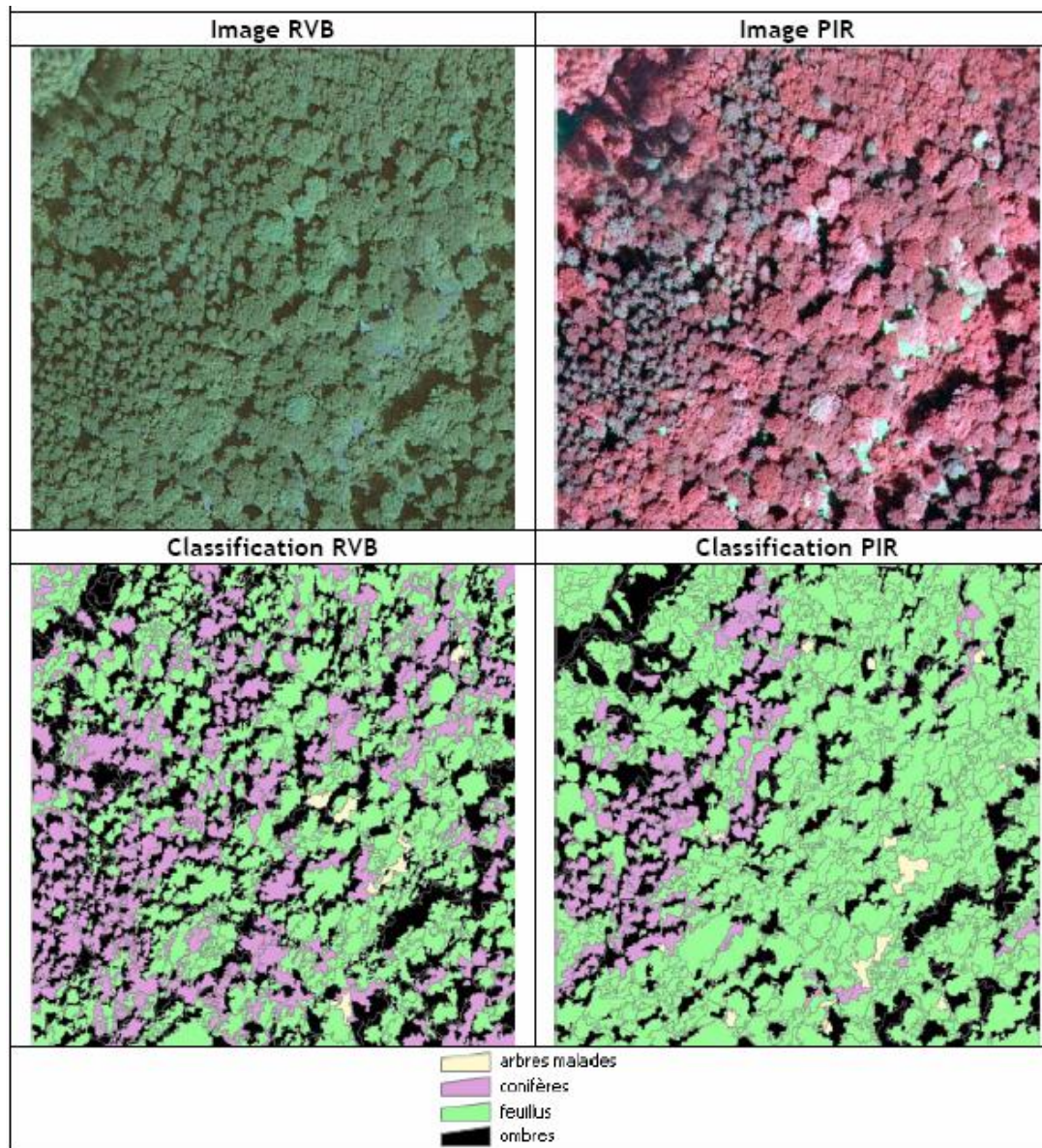
### **Analyse du potentiel des images PIR pour extraire 4 classes:**

1. Feuillus
2. Conifères
3. Arbres malades
4. Ombres

### **Classification avec le logiciel eCognition:**

1. Segmentation de l'image
2. Création des classes
3. Définition des caractéristiques pour la classification (teinte: moy &  $\sigma$ )
4. Sélection d'échantillons pour caractériser les classes
5. Classification

# Applications



Il est nécessaire de prendre en compte:

- date de prise de vue (activité chlorophyllienne)
- heure de prise de vue

Images issues de la caméra DMC

Canton de NE (25 [cm])

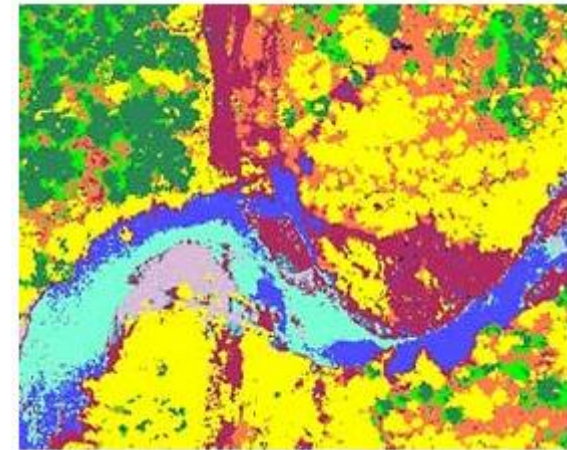
Date: 29 août 2005



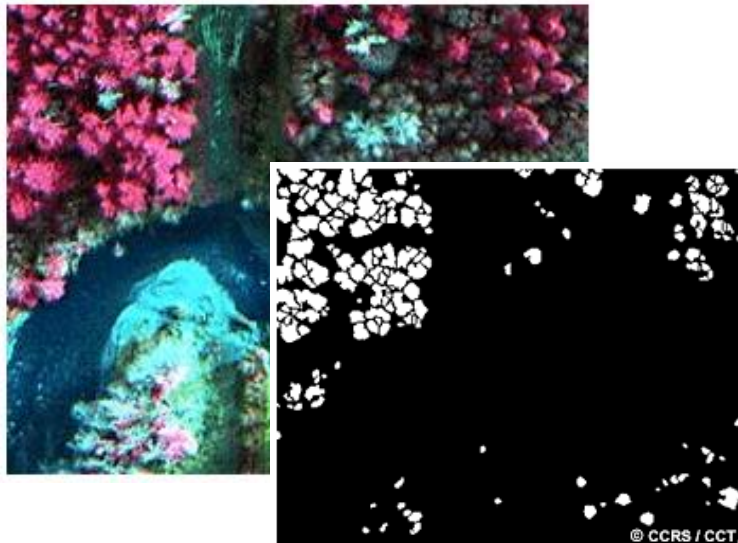
## Perspectives

Analyse plus approfondie dans le domaine forestier  
(reconnaissance des essences forestières, ...)

- Couplage de l'image au **MNA laser**
- Exploitation de la **dimension temporelle**
- Etude d'une nouvelle thématique (zones humides,...)
- Lister plus précisément les **utilisateurs types** des images PIR



**vert foncé** : conifères  
**vert** : branches basses  
**mauve pâle** : gravier  
**jaune** : feuillus  
**orange** : sol sec  
**rouge** : sol humide  
**bleu (pâle)** : eau  
**bleu (foncé)** : eau claire ou profonde





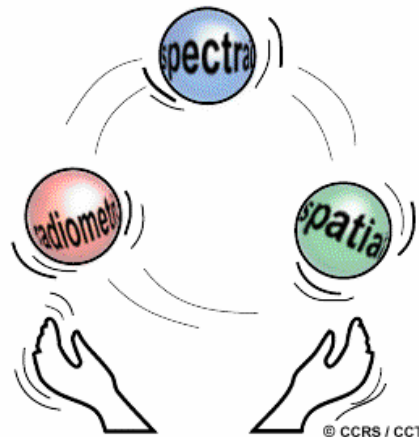
**Merci de votre attention**

## Définitions

**La résolution radiométrique** : seuil de sensibilité du radiomètre, c'est-à-dire la plus faible intensité que le capteur est capable de détecter dans chaque bande spectrale. Par exemple, un capteur utilisant 8 bits pour enregistrer les données aura 256 niveaux d'intensité disponibles ( $2^8$ ).

**La résolution spatiale** : aptitude du capteur à détecter des petits détails. Cette caractéristique est liée à la taille du capteur ainsi qu'à l'optique utilisée (champ de vision instantané). Elle traduit le côté de la portion du sol représentée par un pixel (plus petite unité décelable sur une image)

**La résolution spectrale** : elle se réfère à la plus petite largeur de bande que le radiomètre est capable de mesurer. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites



### Sensibilité du capteur S/N

**PAN**       $\uparrow$  R spatiales :  $\downarrow$  R spectrale

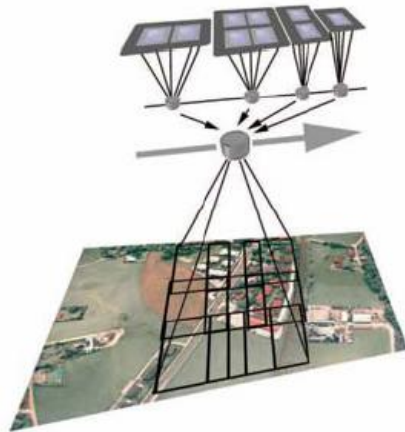
**MS**         $\downarrow$  R spatiales :  $\uparrow$  R spectrale

**La résolution temporelle** : temps entre deux acquisitions d'images sur un même site (phénomènes de courte durée, santé des forêts, analyse des cultures)

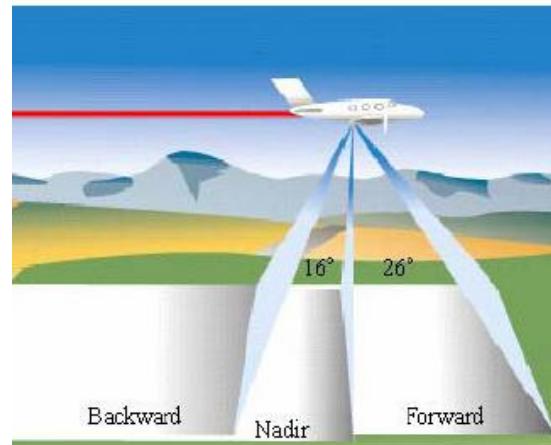
## Caméras multispectrales

### Principe d'acquisition:

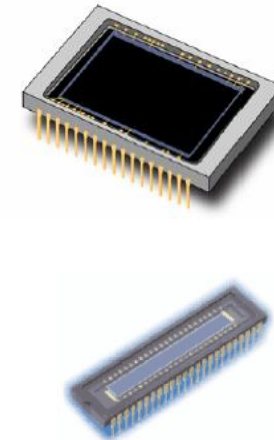
#### Capteurs surfaciques



#### Capteurs trinéaires

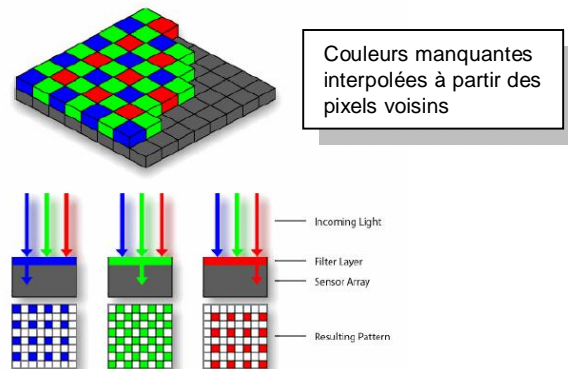


#### Formats des capteurs

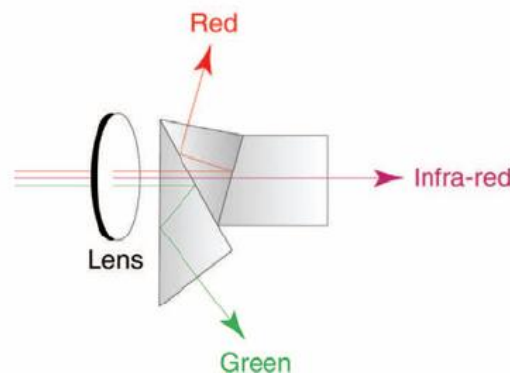


### Production d'images multispectrales:

#### Interpolation de Bayer



#### Séparation chromatique



#### Caméras multiples





## Pansharpening

**Objectif:** préserver l'information spectrale tout en augmentant la résolution spatiale en combinant des images panchromatiques haute résolution spatiale avec des images multispectrales à plus faible résolution

